

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 622.83

©Зайцев В.С.¹, Черевко Е.А.², Добровольская Л.А.³

К ВЫБОРУ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ОТБОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье изложены сведения о существующих способах определения мест незаконного отбора электроэнергии и о разработке авторами интеллектуального датчика тока, оборудованного радиоинтерфейсом и предназначенного для работы в системе автоматического контроля режимов работы поселковых электрических распределительных сетей 0,38 кВ и для определения мест несанкционированного отбора электроэнергии.

Ключевые слова: интеллектуальный датчик тока, радиоинтерфейс, контроль режимов, несанкционированный отбор электроэнергии, сети 0,38 кВ.

Зайцев В.С., Черевко О.О., Добровольська Л.О. До вибору способу визначення місця несанкціонованого відбору електроенергії. У статті викладені зведення про існуючі способи визначення місць протизаконного відбору електроенергії і про розробку авторами інтелектуального датчика струму, обладнаного радіоінтерфейсом і призначеного для роботи в системі автоматичного контролю режимів роботи селищних електричних розподільних мереж 0,38 кВ і для визначення місць несанкціонованого відбору електроенергії.

Ключові слова: інтелектуальний датчик струму, радіоінтерфейс, контроль режимів, несанкціонований відбір електроенергії, мережі 0,38 кВ.

V.S. Zaycev, O.O. Cherevko, L.O. Dobrovolskaya. To the choice of method of location unauthorized selection of electric power. In the article expounded taking about the existent methods of determining the locations of unauthorized selection of electric power and about development of intellectual sensor of current, equipped a radio interface and intended for work in the automatic checking of the modes of operations of settlement electric distributive networks 0,38 kV and for determining the locations of unauthorized selection of electric power.

Keywords: intellectual sensor of current, radio interface, control of the modes, unauthorized selection of electric power, networks 0,38 kV.

Постановка проблемы. Наряду с общими проблемами в поселковых электрических распределительных сетях, связанными с низким качеством поставляемой электроэнергии (ЭЭ) — перерывы в подаче ЭЭ, низкие уровни напряжения у отдалённых потребителей, невысокая надёжность работы электрических сетей, — особое внимание в настоящее время приобретает хищение ЭЭ.

К хищениям приводят достаточно высокие тарифы оплаты за потреблённую ЭЭ, непрерывный рост объёмов её потребления, низкая пропускная способность существующих электрических сетей [1].

В общих объёмах потреблённой ЭЭ некоммерческая составляющая может достигать 30 % и более. Отсюда следует актуальность борьбы с этим негативным явлением.

Анализ последних исследований и публикаций. В статье рассмотрены существующие методы обнаружения мест несанкционированного подключения к распределительным сетям

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

0,38 кВ:

1. Определение места незаконного подключения с помощью переносных токоизмерительных клещей.

Известно техническое решение по определению мест несанкционированного подключения с помощью переносных токоизмерительных клещей [2], которыми периодически измеряют токи в общей линии электропередачи в местах подключения потребителей и в самих ответвлениях к потребителям.

Измерение осуществляется без разрыва цепи путем смыкания клещей вокруг проводника тока. При измерениях проводник тока не разрывается и остаётся электрически изолированным от входов измерительного прибора. Для выполнения измерения нет необходимости прерывать подачу питания.

Этот способ позволяет определять практически все места несанкционированного подключения и величину похищаемой электроэнергии с высокой точностью.

Схема и устройство токовых клещей показаны на рисунке 1.

Существенными недостатками этого способа являются:

- отсутствие постоянного контроля распределения токов в линии электропередачи и в присоединениях потребителей;
- сложность доступа к намеченным точкам измерения и связанная с этим необходимость использования специальной техники, например, автовышек;
- отсутствие возможности автоматического считывания и обработки информации и связанная с этим невозможность контроля режима сети в реальном времени, так как необходим одновременный замер токов на разных присоединениях;
- отсутствие двухсторонней связи с центральным управляющим устройством.

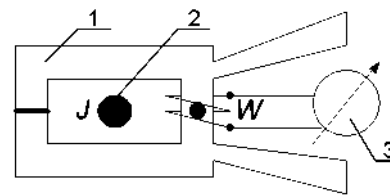


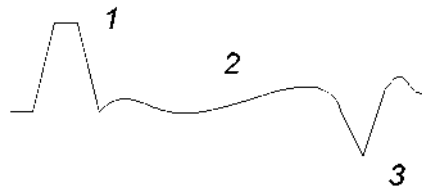
Рис. 1 - Устройство токовых клещей: 1 - токовые клещи; 2 - проводник тока; 3 - измерительный прибор

2. Метод импульсной рефлектометрии.

Метод импульсной рефлектометрии (метод отраженных импульсов) позволяет определить место подключения дополнительной нагрузки.

Данный метод базируется на физическом свойстве длинной однородной линии, согласно которому соотношение между напряжением и током одинаково в любой точке линии, т.е. $U/I = \text{const}$, имеет размерность сопротивления и называется волновым сопротивлением.

Одним из примеров практической реализации этого метода является портативный цифровой рефлектометр РЕЙС-105Р. Рефлектометр РЕЙС-105Р предназначен для обследования металлических воздушных и кабельных линий связи, электропередачи, контроля, управления и других линий с целью обнаружения неисправностей, выявления их характера и определения расстояния до места повреждения.



Прибор позволяет:

- обнаружить и определить расстояние до места повреждения и неоднородностей линий;
- автоматически измерять длину линии или расстояние до короткого замыкания;
- упрощает определение нарушения изоляции и наличия повреждения в линии;
- запоминает до 200 рефлектограмм во встроенной памяти (время хранения не менее 10 лет) и

Рис 2 - Вид участка рефлектограммы: 1 - отражение импульса от места короткого замыкания или места подключения нагрузки; 2 - зона длинной линии между подключениями нагрузки и разрывом линии; 3 - отражение импульса от разрыва линии или места отключения нагрузки

- позволяет обойтись при измерениях в полевых условиях без компьютера;
- имеет возможность обмена информацией и управления от компьютера по интерфейсу RS-232.

Прибор имеет высокую разрешающую способность и низкую погрешность. Наличие режима растяжки рефлектограммы в больших пределах позволяет отсчитать расстояние до дефекта на любом из диапазонов с очень высокой точностью. Частотный диапазон рефлектометров достаточен для обработки сигналов длительностью 7-10 нс.

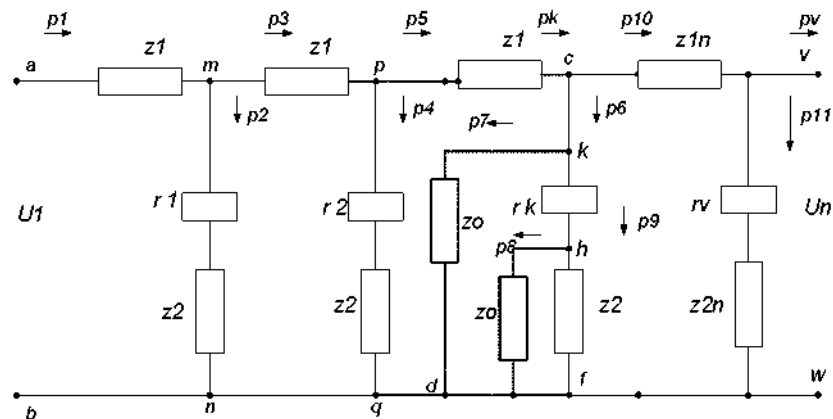


Рис. 3 - Электрическая схема распределительной поселковой сети

Однако питающая линия электроснабжения только с большим допущением может быть принята за длинную линию с распределенными параметрами. На самом деле, схема замещения содержит большое количество подключенных к линии потребителей, которые все дадут отраженные импульсы, как от замкнутых коммутационных аппаратов, так и разомкнутых, что вызовет большое количество отраженных сигналов различной величины. Подключение несанкционированной нагрузки будет воспринято в этом случае как законное подключение. Такая ситуация сделает практически невозможной идентификацию места несанкционированного подключения. Кроме того, разная величина нагрузки вызовет разную величину отраженного импульса, что также затруднит нахождение мест подключения.

3. Метод, основанный на сравнении отдаваемой и потребляемой электроэнергии в отдельной фазе распределительной сети.

Присутствие незаконного подключения может быть определено по наличию разницы между отпущенной электроэнергией и фактически потребленной. Но если отпускаемая ЭЭ известна в любой момент, то потребленная ЭЭ может быть определена по сумме показаний электросчетчиков, установленных у потребителей. В этом случае оперативный контроль отсутствует, поскольку сумма показаний счетчиков определяется обычно один раз в месяц.

Для определения места несанкционированного отбора необходимо иметь информацию со счетчиков, учитывающих потребленную ЭЭ в реальном времени. Для этого можно использовать счетчики с беспроводной передачей информации или использовать технологию передачи информации по силовым проводам [3, 4, 5].

Чтобы максимально затруднить подключение несанкционированной нагрузки от питающей линии до счетчика ЭЭ, этот участок необходимо защитить, проложив провод в металлорукаве или в металлической или пластмассовой трубе.

Цель статьи - Разработка метода автоматического обнаружения мест несанкционированного отбора ЭЭ в распределительных сетях 0,38 кВ, основанного на использовании интеллектуального токового датчика.

Изложение основного материала. В [6] предложены способ и система защиты электрических сетей при хищениях ЭЭ путём присоединения к проводу, отходящему к потребителю до приборов учёта (точка А на рисунке 4), а также при присоединении проводов к проводу общей линии (точка В). Данное техническое решение основано на использовании датчиков тока (ДТ), которые располагаются определенным способом на линии электропередачи.

При несанкционированном отборе мощности на участке между датчиком тока и счетчи-

ком признаком отбора (увеличения нагрузки) является дисбаланс между величинами токов (максимальным, зафиксированным ранее, и фактическим), при этом показания счётчика не изменяются, либо уменьшаются.

При подключении к проводам общей линии признаком наличия несанкционированного отбора является разница в суммарных расходах ЭЭ, т.е. нарушение баланса между показаниями счётчиков, установленных у индивидуальных потребителей, и показаниями счётчика, установленного на питающей подстанции и измеряющего ЭЭ, подаваемую в рассматриваемую линию.

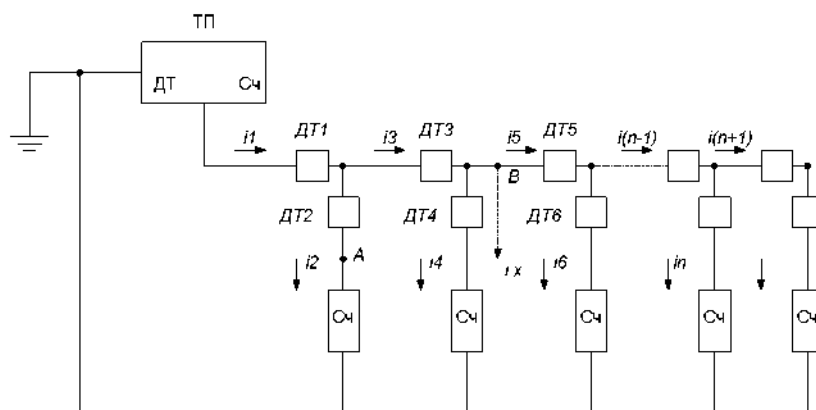


Рис. 4 – Структурная схема контроля расхода электроэнергии: ТП – трансформаторная подстанция; ДТ – датчик тока; Сч – счётчик электроэнергии

Определение участка, на котором производится несанкционированный отбор ЭЭ, осуществляется также при помощи проверки 1-го закона Кирхгофа. Например, при подключении проводов в точке В не будет соблюдаться соотношение $i5 = i3 - i4$, поскольку справедливо соотношение $i5 = i3 - i4 - ix$.

Аналогичные рассуждения справедливы и для остальных участков общей линии передачи ЭЭ.

Таким образом, оснатив все подключения потребителей датчиками тока, включаемыми в общую линию и в линию, идущую к потребителю, можно практически со 100 % вероятностью определить место несанкционированного отбора ЭЭ.

Для удобства сбора информации с датчиков тока и счётчиков у потребителей предлагается использовать радиосистему передачи данных, считываемых со счётчиков и датчиков, имеющих соответствующий выход.

На рисунке 5 изображена условная однолинейная схема поселковой распределительной сети напряжением 380/220 В для электроснабжения 12 потребителей ЭЭ. На рис. 5 приняты следующие обозначения: Z1–Z12 – участки проводов магистральной линейной сети; Y1–Y12 – проводимости нагрузок потребителей.

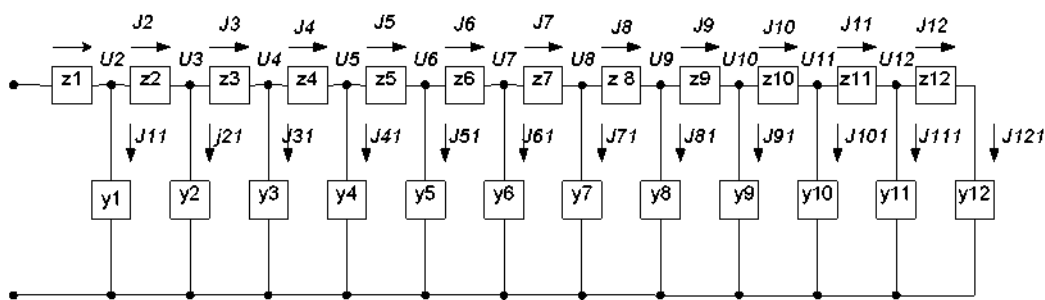


Рис. 5 – Однолинейная электрическая схема распределительной поселковой сети

Режимы работы сети характеризуются случайным числом включенных нагрузок, их величиной и разными сочетаниями по m из n , равными C_n^m . На рис. 5 $n=12$, m меняется от 0 до

12, а число разных сочетаний может достигать нескольких сотен.

С учётом подключаемой незаконной нагрузки число случайных величин, подлежащее учёту, вырастает до многих тысяч и делает их анализ весьма затруднительным, а, зачастую, вообще невозможным. Речь идёт об идентификации различных режимов работы сети по величинам входных сопротивлений.

Анализ, проведенный для схемы рис. 5 для значений всех параметров, близких к реальным, показывает следующее.

Параметры: провод линии — алюминивно-стальной, сечением 240 мм^2 , обладает активным сопротивлением $0,131 \text{ ом/км}$, индуктивным сопротивлением $0,28 \text{ ом/км}$, допустимый ток нагрузки 290 А [7, 8].

При расчёте принято, что между потребителями, получающими питание от одной фазы, расстояние составляет 100 м . Сопротивления нагрузок одинаковы и равны $40+j2$. В этих условиях можно рассчитать напряжения и токи у потребителей. Результаты расчетов приведены на рисунке 6. При расчётах напряжение в начале линии принято равным $U = 230 \text{ В}$.

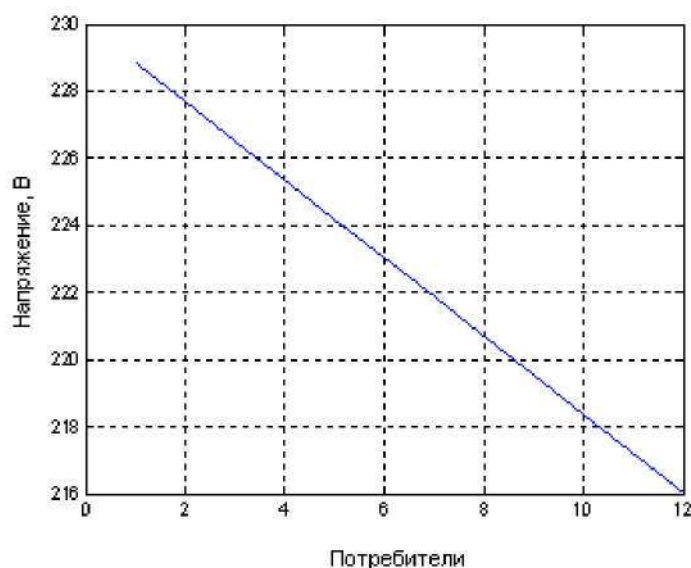


Рис. 6 — Изменение напряжения по потребителям

При расчётах использовались следующие соотношения: $U_{k+1} = U_k - J_k * Z_k$, где k изменяется от 1 до 12. Ток в сопротивлении Z_k равен $U_k * Y_k$, где Y_k равно $1/(40+j2)$ и т.д.

Расчеты показывают, что в конце линии напряжение у потребителя снижается до 216 В , что и подтверждается в настоящее время проведенными наблюдениями. При увеличении числа потребителей или при увеличении нагрузок, в том числе хищений, напряжение у потребителей снизится до недопустимых величин.

На рис. 6 показана зависимость величины напряжений у потребителей при учете принятых выше величин параметров линии. При увеличении числа потребителей и нагрузок, обусловленных законным и незаконным подключениями к распределительной линии снижение напряжений у потребителей может достигать до 170 В и ниже.

Анализ показывает, что информация об уровнях напряжения у потребителей недостаточна для определения наличия и места несанкционированного отбора мощности. Во-первых, необходима передача информации на пункт диспетчера, во-вторых, снижение напряжения может возникнуть и при законном увеличении нагрузки, что и происходит в часы суточного максимума потребления (в часы пик). Для реализации способа, предложенного в [6], необходима передача на пункт диспетчера информации о текущих значениях потребления ЭЭ или значениях токов.

Авторами [9] разработан интеллектуальный датчик тока для работы в системе автоматического контроля режимов работы низковольтных распределительных электрических сетей. Конструкция датчика лишена недостатков, имеющихся у существующих типов датчиков для

измерения величины тока. Преобразование аналогового сигнала датчика в цифровую форму позволяет сопрягать его с вычислительной техникой и обеспечивать его достаточную помехоустойчивость при передаче по радиоканалу. Конструкция датчика позволяет легко монтировать и демонтировать его на проводах линий электропередачи. Расчеты и эксперименты на силовой модели датчика показали, что класс точности ДТ не хуже 1 %.

В настоящей статье приводится расчет магнитной системы токового датчика (рисунок 7).

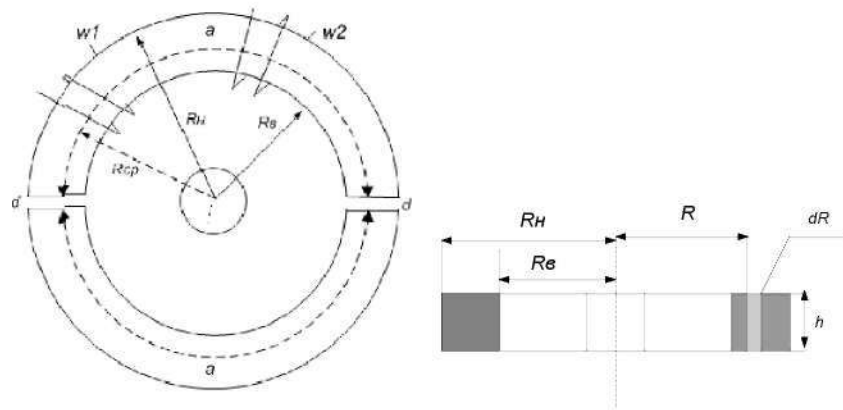


Рис. 7 – Магнитная система датчика тока

Необходимо определить наведенные ЭДС в обмотках $w1$ и $w2$, которые используются в датчике для преобразования величины протекающего через него тока в напряжение переменного тока, служащие для питания электронной части схемы датчика.

При расчетах учтены рекомендации, содержащиеся в [10].

Зададимся исходными данными: $Rb = 2$ см; $Rn = 3$ см; $Rcp = 2,5$ см; $d = 0,1$ мм; $\mu = 2000$; $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$; $h = 1$ см; $d = 0,0001 \div 0,001$ м.

При расчетах использованы следующие соотношения:

1. Напряжённость магнитного поля в сердечнике по закону полного тока равна

$$H = \frac{I\omega}{2\pi R}. \quad (1)$$

2. Магнитный поток через участок сечения hdR (см. рис. 7) равен

$$d\Phi = Bh dR = \frac{\mu_0 \mu I \omega h}{2\pi} \ln \frac{Rn}{Rb}. \quad (2)$$

3. Полный поток

$$\Phi = \int d\Phi = \frac{\mu_0 \mu I \omega h}{2\pi} \int_{Rb}^{Rn} \frac{dR}{R} = \frac{\mu_0 \mu I \omega h}{2\pi} \ln \frac{Rn}{Rb}. \quad (3)$$

4. Потокосцепление

$$\Psi = \omega \Phi. \quad (4)$$

5. Индуктивность

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\omega \mu_0 \mu h \omega}{2\pi} \ln \frac{Rn}{Rb}. \quad (5)$$

6. Э.Д.С., наведенные в обмотках, равны

$$E1 = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\omega I \Phi}{dt}; \quad E2 = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\omega 2\Phi}{dt}. \quad (6)$$

7. Реальное значение магнитного потока, используемое в выражениях (6), необходимо уточнить с учётом наличия воздушных зазоров d .

Магнитное сопротивление сердечника без зазоров:

$$R_M = \frac{2\pi Rcp}{\mu_0 \mu S}.$$

Магнитное сопротивление воздушных зазоров:

$$R_3 = \frac{2d}{\mu_0 S}.$$

Все необходимые расчёты выполнены на ЭВМ.

Расчеты показали, что для разных значений токов нагрузок во вторичной обмотке требуется разное количество витков. Задача решается, если у обмотки, рассчитанной на минимальный ток (максимум витков), выполнить отпайки, снимаемое напряжение с которых обеспечивает надежное питание электронной схемы датчика. Те же соображения относятся и к измерительной обмотке.

Выводы

Проделанный анализ распределительной сети 0,38 кВ показал, что надежного и дешевого способа обнаружения мест несанкционированного подключения в настоящее время не существует.

Разработанная авторами конструкция интеллектуального датчика тока лишена недостатков, имеющихся у существующих типов датчиков для измерения величины тока, предназначенных для работы в автоматизированных системах контроля режимов работы распределительных электрических сетей. Преобразование аналогового сигнала датчика в цифровую форму позволяет сопрягать его с вычислительной техникой и обеспечивать его достаточную помехоустойчивость при передаче по радиоканалу. Конструкция датчика позволяет легко его монтировать и демонтировать на проводах линий электропередачи.

Список использованных источников:

1. Красник В.В. 101 способ хищения электроэнергии / В.В. Красник. – М. : Ростехэнергонадзор, 2009. – 107 с.
2. Токовые клещи [Электронный ресурс] ([http // www. chauvin - arnoux.ru / clamps _ description. htm](http://www.chauvin-arnoux.ru/clamps_description.htm)).
3. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 1 – С. 18-27.
4. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 2 – С. 21-30.
5. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 3 – С. 14-25.
6. Пат. 09592 Україна, МПК G 02 J 13/00. Структурна схема визначення місць несанкціонованого підключення до лінії електропередачі / Л.О. Добровольська, О.О. Черевко // № 47879; заявл. 18.09.2009; опубл. 25.02.2010. – бюл. № 4. – 4 с.
7. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы / Л.А. Солдаткина. – М. : Энергия, 1978. – 216 с.
8. Глазунов А.А. Электрические сети и системы / А.А. Глазунов. – М. : Госэнергоиздат, 1954. – 574 с.
9. Черевко Е.А., Интеллектуальный датчик тока для автоматического контроля режимов работы поселковых распределительных электрических сетей / Е.А. Черевко, Л.А. Добровольская // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки. Зб. наук. праць. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2011. – №. 2 (23). – С. 259-264.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1984. – 559 с.

Bibliography

1. Krasnik V.V. 101 method of plunder of the electric power / V.V. Krasnik – M. : Rostehenergonadzor, 2009. – 107p. (Rus.)
2. The current pincers [Electronic resource] // ([http//www.chauvin-arnoux.ru/clamps_description. htm](http://www.chauvin-arnoux.ru/clamps_description.htm)) (Rus.)
3. Okhrimenko V.V. Narrow-band technology of communication of data on the electric systems / V.V. Okhrimenko // Electronic components and systems. – 2010. – № 1 – P. 18-27. (Rus.)

4. Okhrimenko V.V. Narrow-band technology of communication of data on the electric systems / V.V. Okhrimenko // Electronic components and systems. – 2010. – № 2 – P. 21-30. (Rus.)
5. Okhrimenko V.V. Narrow-band technology of communication of data on the electric systems / V.V. Okhrimenko // Electronic components and systems. – 2010. – № 3 – P. 14-25. (Rus.)
6. Patent 09592 Ukraine, G 02 J 13/00. The structure scheme for determination of places of unapproved connection to a transmission line / L.A. Dobrovolskaja, E.A. Cherevko // № 47879; declared 18.09.2009; published 25.02.2010. – bul. № 4. – 4 p. (Ukr.)
7. Soldatkina L.A. The Electric networks and systems /L.A. Soldatkina. – M. : Energy, 1978. – 216 p. (Rus.)
8. Glazunov A.A. the Electric networks and systems / A.A. Glazunov. – M. : Gosenergoizdat, 1954. – 574 p. (Rus.)
9. Cherevko E.A., Intellectual sensor of current for automatic control of the modes of operations of settlement distributive electric networks / E.A. Cherevko, L.A. Dobrovol'skaya // Reporter of Priazovskyi state technical university. Section : Technical sciences: Collection of scientific works. – Mariupol : SHEE «PSTU», 2011. – №. 2 (23). – P. 259-264. (Rus.)
10. Bessonov L.A. Theoretical bases of the electrical engineering / L.A. Bessonov. – M. : Higher school, 1984. – 559 p. (Rus.)

Рецензент: Ю.Л. Саенко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПТУ»

Статья поступила 12.11.2012